

鉄骨ブレース補強後 RC 造骨組の解析モデルの構築

(その 1) 鉄骨ブレース座屈の影響に関する検討

Establishing of analytical model for RC frame retrofitted with steel braces

(Part1) Effect of Buckling in Steel Brace

○内野卓¹, 藤田有希子¹, 山根康孝², 伊東大地³, 田嶋和樹⁴, 白井伸明⁴*Suguru Uchino¹, Yukiko Fujita¹, Yasutaka Yamane², Daichi Ito³, Kazuki Tajima⁴, Nobuaki Shirai⁴

Abstract: Analytical model that can simulate various failure modes in RC frame retrofitted with steel braces was established. In Part 1, effect of the buckling in steel brace is examined. The analytical model for RC frame retrofitted with steel braces is constructed as an assembly of fiber model, sub-element and truss element, and they were analyzed under cyclic lateral loading. Buckling in the steel brace was included by a simple constitutive law. As a result, the analytical model gave better predictions, including the post-peak behavior.

1. はじめに

兵庫県南部地震以降, 鉄筋コンクリート (以下, RC) 造建物の耐震補強に対する関心が高まり, 様々な補強工法が提案されている^[1]. 中でも比較的軽量で適度な大きさの開口を設けられる鉄骨ブレース工法が多く採用されている. この工法によって補強された RC 造建物の耐震性能は耐震改修設計指針^[1]の手法より評価できる. しかし, この手法は個別の補強部材の性能評価に基づいたものであり, 補強建物が地震動を受けた際に適切な動的挙動を示すかどうかは定かでない. よって, 耐震補強後の RC 造建物の耐震性能を数値解析に基づいて評価する手法の開発が必要である.

一方, 筆者らは FEM 解析に基づく各種破壊モードを考慮した鉄骨ブレース補強後 RC 造骨組の耐力略算法^[2]および復元力特性の構築を試みた^[3]. その結果, 補強後骨組の各種破壊メカニズムを考慮した復元力特性の推定が可能となった. しかし, 現状で推定可能な復元力特性は骨格曲線のみであり, 動的解析に拡張するためには, 履歴特性を含めた復元力特性の構築が必要である. そこで, 本研究では鉄骨ブレース補強後 RC 造骨組の履歴特性を含めた解析モデルの構築を試みる. 本報(その 1)ではブレース座屈が生じる補強後 RC 造骨組を対象とした解析モデルを構築する.

2. 解析対象実験

南らは低強度コンクリート学校校舎の耐震強度を調べるため, 1/1.75 縮小試験体 3 体の実験^[4]を行った. このうち, ブレース座屈が生じたあと施工アンカー工法で補強した F2 試験体を対象とする(Fig.1). 载荷は一定軸力下(600kN)での正負交番漸増繰返し载荷である.

3. 解析モデル概要

解析モデルはファイバーモデルをベースとし, せん断破壊挙動を模擬するせん断サブ要素を組み込むことにより柱の非弾性変形挙動のモデル化を行う. なお, 解析には, 数値解析コード OpenSees^[5]を用いた.

解析モデルを Fig.2 に示す. 実験ではせん断破壊が確認されているので, 各柱にはせん断サブ要素を設置した. 梁は剛梁としてモデル化し, 基礎は剛体とした. 鉄骨ブレースはトラス要素でモデル化した. 柱の断面は 7x7 のファイバーに分割し, 柱梁接合部は剛域として扱った(接合部中心から間接接合部まで). Fig.3 にコンクリート, Fig.4 に鉄筋の σ - ϵ 関係を示す. コンクリートと鉄筋には, OpenSees に組み込まれている Concrete01 および Steel02 Material を適用した. コアコンクリートに対しては Mander^[6]の拘束効果を適用した. また, 鉄筋の降伏後の二次勾配は初期剛性の 1/1000 とした. せん断サブ要素はせん断破壊領域に生じるせん断カーせん断変形関係を模した Tri-Linear 型の復元力特性^[7]を用いた(Fig.5). 鉄骨ブレースには Hysteretic

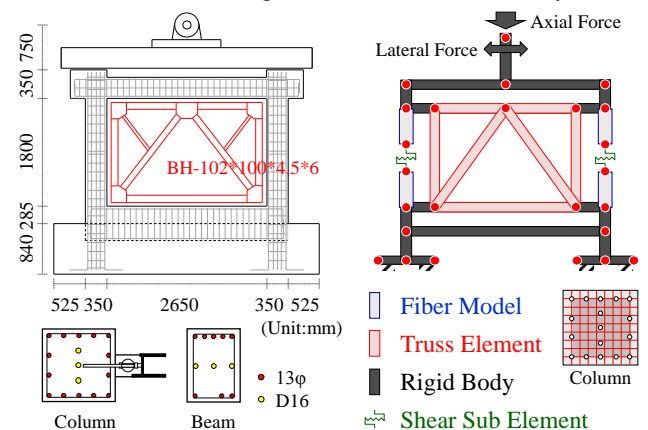


Fig.1 Geometry of Specimen

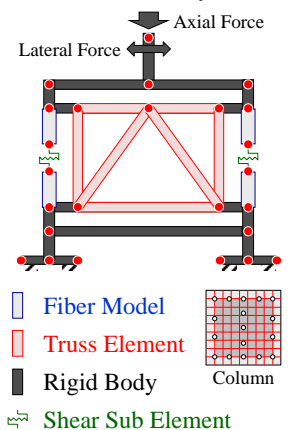


Fig.2 Modeling of Frame

1: 日大理工・学部・建築 2: 日大理工・院(前)・建築 3: 日大理工・研究生・建築 4: 日大理工・教員・建築

Material を適用し、引張側は Bi-Linear 型、圧縮側は座屈を考慮した構成則とした。筆者らの研究 [3] では、鉄骨ブレース圧縮側を加藤らの提案する履歴モデル [8] を用いて算出した骨格曲線を用いたが、本解析ではエネルギーが等価となる Tri-Linear 型とした(Fig.6).

4. 解析結果

実験および解析のせん断力-層間変形角関係を Fig.7 に示す。解析結果は実験結果と良好な対応を示しており、初期剛性、最大耐力およびポストピーク挙動が概ね一致している。また、履歴挙動も実験結果を模擬していることから座屈が生じる鉄骨ブレース補強後骨組に対する解析モデルの妥当性が確認できる。ただし、解析において鉄骨ブレースに用いた履歴則は最大点指向型であり、実際の履歴挙動とは異なる。また、本手法は鉄骨ブレースのひずみ度サイクルを事前に把握する必要があり、動的解析に適用するにはこれらの問題点に対する解析モデルの改良が必要である。

5. まとめ

- (1) ブレース座屈が生じる鉄骨ブレース補強後 RC 造骨組の解析モデルの構築を行った。
- (2) 柱をファイバーモデルとせん断サブ要素、鉄骨ブレースをトラス要素によってモデル化した。
- (3) 鉄骨ブレースの座屈を考慮した構成則を用いることで、ポストピーク挙動を含めて実験結果を概ね模擬する解析モデルの構築が可能となった。

6. 参考文献

- [1] 財団法人, 日本建築防災協会, 国土交通省住宅局建築指導課監修:「既存コンクリート造建築物の耐震改修設計指針 同解説」, 2001.
- [2] 伊東大地, 小林仁, 白井伸明, 田嶋和樹:「FEM に基づく全体曲げ降伏する補強後 RC 骨組の耐力略算法の構築 (その 2)」, 日本建築学会学術梗概集, pp.265-266, 2011.8
- [3] 伊東大地, 山根康孝, 田嶋和樹, 白井伸明:「破壊モードの異なる鉄骨ブレース補強後 RC 造骨組の復元力特性のモデル化 (その 1,2)」, 日本建築学会学術梗概集, pp.163-166, 2012.9
- [4] 藤井稔己, 石村光由, 眞木正経, 南宏一:「低強度コンクリート学校校舎の耐震補強効果」, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1195-2000, 2008.
- [5] Open System for Earthquake Engineering Simulation - HomePage, <http://opensees.berkeley.edu/>

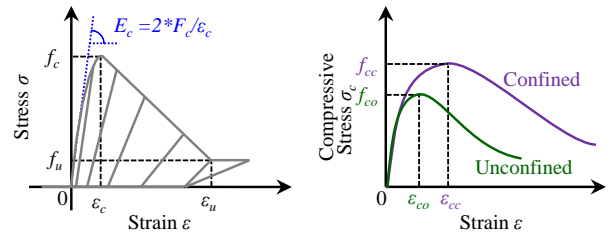


Fig.3 Stress-Strain Relationships of Concrete

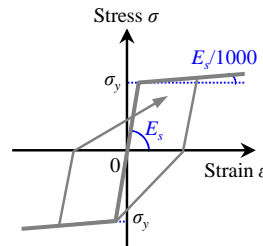


Fig.4 Stress-Strain Relationships of Steel

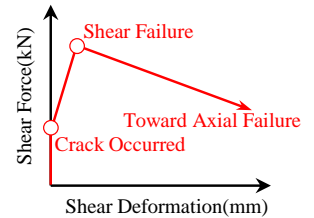


Fig.5 Restoring Force Characteristics for Sub-Elements

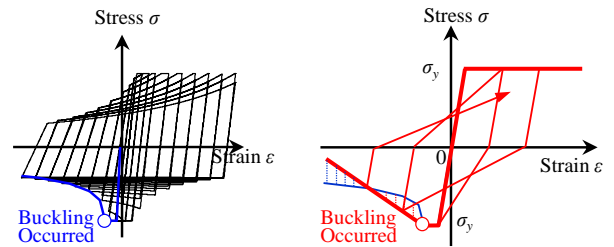


Fig.6 Model of Stress-Strain Relationships for Steel Brace

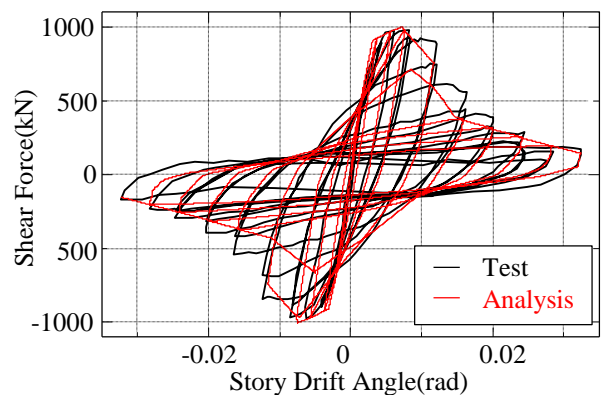


Fig.7 Cyclic Analysis Result

- [6] J.B.Mander: “Teoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete”, Journal of Structural Engineering, Vol.114, No.8, pp.1804-1826, 1988.8
- [7] 田嶋和樹, 河井慎太郎, 白井伸明ほか:「脆性部材の破壊が RC 造骨組の耐震性能に及ぼす影響」, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.2, pp.337-342, 2012.
- [8] 加藤勉ほか:「原子力発電所建屋の鉄骨架構の復元力特性に関する研究(その 6,9)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1541-1542,1553-1554, 1991.9

【謝辞】

本研究の一部は科学研究費補助金(基盤研究(C), 代表者: 白井伸明)の助成を受けて行われたものである。